

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE RESISTENCIA PARA GUADUA ANGUSTIFOLIA

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CHARACTERISTICS VALUES FOR GUADUA ANGUSTIFOLIA

Patricia Luna¹, Jorge Lozano², Caori Takeuchi^{3,*}

RESUMEN

Para el diseño de estructuras que utilizan como material estructural principal el bambú *Guadua angustifolia*, es necesario conocer los valores característicos de sus propiedades mecánicas y módulos elásticos. En este artículo se presenta la metodología experimental utilizada para la determinación de los valores característicos de resistencia mecánica a flexión longitudinal, compresión, corte y tracción paralela a la fibra, torsión, y compresión perpendicular a la fibra y módulos elásticos de la *Guadua angustifolia*. Se realizaron ensayos en probetas tomadas de la parte inferior, media y superior de culmos de guaduas provenientes de tres departamentos diferentes de Colombia. Se encontraron los valores característicos de la resistencia a compresión, tensión y corte paralelos a la fibra, flexión longitudinal, torsión y compresión perpendicular así como valores de módulo de elasticidad longitudinal y circunferencial.

Palabras clave: Bambú, *Guadua angustifolia*, propiedades mecánicas, módulos elásticos, valor característico.

ABSTRACT

For the design of structures built with bamboo *Guadua angustifolia* as structural material it is necessary to know the characteristics values of its mechanical properties and elastics modulus. This article shows the experimental methodology used in the determination of characteristics values for bending, compression, shear and tensile parallel to fiber, torsion, compression perpendicular to fiber and elastics modulus for *Guadua angustifolia*. Tests were performed in samples taken from the bottom, middle and upper parts of culms of bamboos from three different areas of Colombia. Characteristic values of compression, tension and shear parallel to the fiber, bending, torsion and perpendicular compression strengths were found. Also the elastic longitudinal modulus and the circumferential modulus were determined.

Keywords: Bamboo, *Guadua angustifolia*, mechanical properties, elastic modulus, characteristic value.

¹ Investigador. Laboratorio de Ensayos e Investigación IEL. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. plunat@unal.edu.co

² Profesor Asistente. Laboratorio del Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Facultad de Artes. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. jelozanop@unal.edu.co

³ Profesor Titular. Laboratorio de Ensayos e Investigación IEL. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. cptakeuchit@unal.edu.co

*Autor para correspondencia: cptakeuchit@unal.edu.co

Recibido: 28.05.2012 Aceptado: 26.04.2013

INTRODUCCIÓN

En el año 2002 se adiciona mediante el Decreto 052 (2002) el Título E7 a la Norma de Diseño Sismo Resistente NSR-98 (1999) donde se contempla el uso del bambú para la construcción de casas de uno y dos pisos de bahareque encementado, sistema estructural que se basa en muros de carga construidos con marcos de guadua revestidos de mortero.

Como el comportamiento del bambú guadua como material estructural de vigas, columnas, cerchas y pórticos es diferente al del bahareque encementado, la caracterización mecánica de este material es importante. Se han desarrollado diferentes investigaciones donde se han encontrado algunas propiedades mecánicas de la guadua. Se pueden mencionar entre otros, los trabajos y publicaciones de Díaz y González (1992), López y Silva (2000), García *et al.* (2002), Castrillón y Malaver (2004), Ghavami y Marinho (2004), Pantoja y Acuña (2005), González y Takeuchi (2007), Torres *et al.* (2007), Lamus (2008) y Bedoya *et al.* (2008).

Sin embargo, los valores de resistencia encontrados en la bibliografía fueron obtenidos siguiendo diferentes protocolos de ensayo, ya que la existencia de normas que establecen los procedimientos de ensayos para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del bambú (International Organization for Standardization, 2004b) y específicamente de la *Guadua angustifolia* (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2007) son recientes.

Teniendo en cuenta lo anterior y además porque en investigaciones previas se determinaron las propiedades mecánicas de guadas para diferentes condiciones tanto ambientales como del material, en este trabajo se determinaron los valores característicos de resistencia mecánica del bambú *Guadua angustifolia* a flexión longitudinal, compresión, corte y tracción paralela a la fibra, torsión, compresión perpendicular a la fibra y módulo de elasticidad circunferencial y longitudinal con base en los resultados de 944 ensayos realizados siguiendo los procedimientos dados en la norma NTC 5525 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de conocer las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth de diferentes regiones de Colombia y no sesgar los resultados a una región en particular, el material usado para la elaboración de las probetas fue tomado de tres departamentos de Colombia: Quindío (Zona A), Cundinamarca (Zona B) y Valle del Cauca (Zona C). En cada una las zonas se cortaron cuarenta culmos de bambú, los cuales fueron divididos en tres tramos para luego ser transportados a la ciudad de Bogotá, donde se cortaron y prepararon las probetas de ensayo.

Siendo importante conocer la procedencia y posición en altura en el culmo de las probetas usadas en los ensayos mecánicos, se establecieron y siguieron protocolos para el corte e identificación de los culmos de bambú y para la preparación de las probetas como se describe a continuación:

Corte de culmos

Para el corte de los culmos y su posterior identificación se siguieron las siguientes etapas:

Etapas 0: Selección de culmos de guadua con edades entre 3 y 6 años.

Etapas 1: Marcación de cada culmo de guadua con dos caracteres, el primero alfabético para identificar la finca o guadual y el segundo numérico para identificar el culmo de guadua.

Etapas 2: Identificación del cuello de la guadua o punto de unión entre el rizoma y el culmo.

Etapa 3: Marcación de un anillo a 1 metro de altura a partir del cuello de la guadua con pintura roja para facilitar la identificación de los culmos a cortar dentro del guadual.

Etapa 4: Medición del diámetro y longitud de los cinco primeros entrenudos de cada culmo, con el objetivo de tener una completa caracterización física del culmo ya que los primeros entrenudos quedan en el guadual para que nazca un nuevo rebrote.

Etapa 5: Corte del culmo

Etapa 6: Conteo y marcación de todos los entrenudos.

Etapa 7: División de cada culmo en tres partes con las siguientes longitudes: 1,50 m, 4,50 m y 3 m aproximadamente, las cuales corresponden a la parte inferior o cepa, parte media o basa y parte superior o sobrebasa respectivamente.

Preparación de probetas

Cuando los tramos de guadas llegaron a Bogotá se realizó una segunda caracterización para elaborar los esquemas de corte de probetas, donde se identifica la posición exacta en el culmo de cada muestra utilizada en los ensayos de resistencia mecánica. Posterior a este, se elaboraron los esquemas de corte de las probetas. El procedimiento de preparación de probetas se describe a continuación:

Etapa 0: Identificación de cada parte del culmo y de su procedencia de acuerdo a la nomenclatura usada al momento del corte en el guadual.

Etapa 1: Conteo del número de entrenudos de cada parte del culmo.

Etapa 2: Medición en cada extremo de los tramos, de dos diámetros mutuamente perpendiculares.

Etapa 3: Medición de 4 espesores por cada sección transversal, en los mismos puntos donde fue medido el diámetro.

Etapa 4: Marcación y medición de cada entrenudo.

Etapa 5: Digitalización de la información de longitudes de entrenudos y diámetros para la elaboración de los esquemas de corte de cada culmo para posicionar cada probeta de manera aleatoria, siguiendo los lineamientos (longitud y posición del nudo) establecidos en la NTC5525 (2007) para cada tipo de probetas.

Etapa 6: Elaboración de los esquemas de corte de cada tramo de culmo. En la Figura 1 se muestra uno de los esquemas de corte elaborado, el que corresponde a la parte media de la muestra A1 de Armenia. En la parte superior del formato, se encuentra la procedencia, número de entrenudos y posición del tramo considerado. Al lado izquierdo, se encuentra la identificación de cada entrenudo y su longitud, así como las dimensiones de los diámetros y espesores de sus extremos. En el tramo del culmo, se encuentran las diferentes probetas, de acuerdo a las convenciones que aparecen en el extremo inferior derecho.

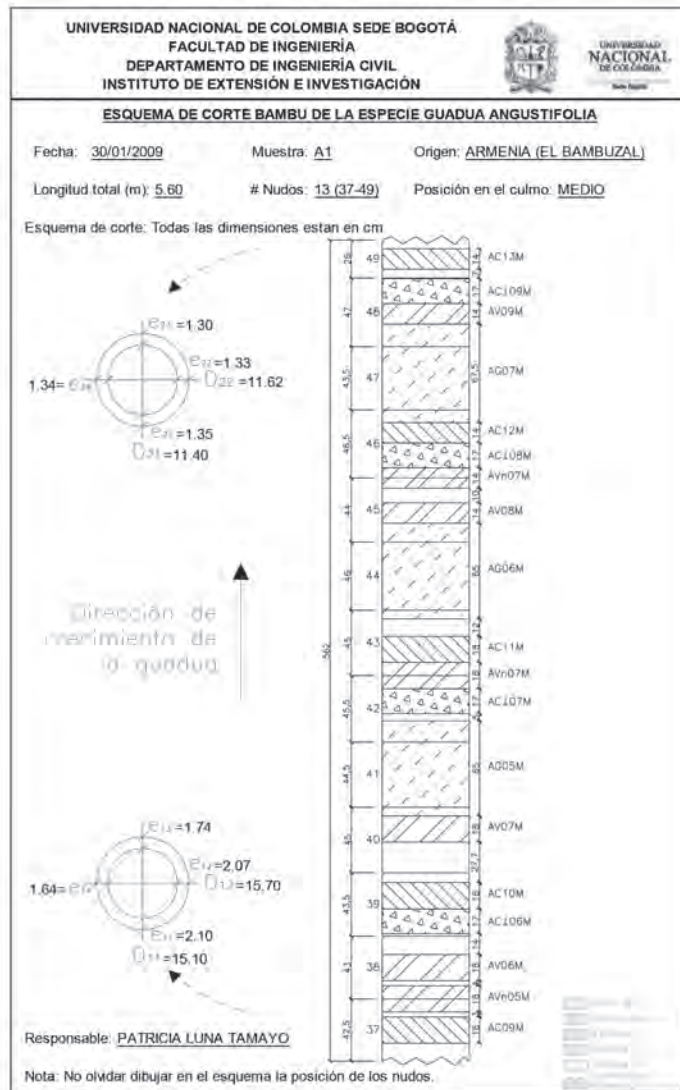


Figura 1. Esquema de corte.

Etapa 7: Marcación de cada parte del culmo de acuerdo al esquema de corte realizado en la etapa anterior, identificando plenamente cada probeta (Figura 2).

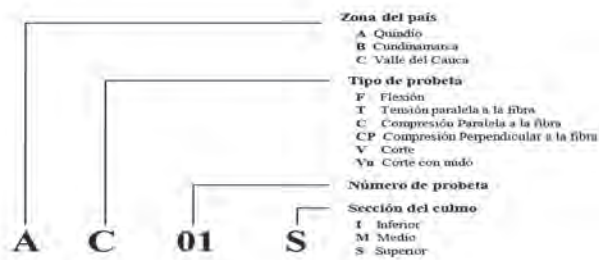


Figura 2. Nomenclatura usada para la identificación de las probetas.

Etapa 8: Corte de cada probeta. Adicionalmente, las probetas que serán usadas en los ensayos de corte y compresión paralela a la fibra deberán pasar por el proceso de afinado de cada extremo para garantizar un ángulo recto con respecto a su eje longitudinal.

Etapa 9: Inmersión de cada probeta en agua por un periodo mínimo de dos semanas antes de cada ensayo para determinar la resistencia de las probetas húmedas. Así el valor de resistencia es mínimo y se tiene un valor conservador para diseño.

Ensayos Mecánicos y Físicos

Se realizaron ensayos de flexión, compresión, corte y tensión paralela a la fibra, siguiendo los parámetros de ensayo establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5525.

Adicionalmente a estas pruebas se realizaron ensayos de torsión y compresión perpendicular a la fibra. Debido a que estos ensayos no se encuentran contemplados en las normas nacionales e internacionales, se siguió un procedimiento similar a los utilizados por Lamus (2008) para torsión y Torres (2007) compresión perpendicular.

Luego de finalizar cada ensayo mecánico, se determinó el contenido de humedad al momento de la falla de la guadua siguiendo el procedimiento establecido en la NTC 5525; estas probetas fueron extraídas de porciones cercanas al lugar de la falla de cada probeta.

La Tabla 1 presenta la cantidad total de las probetas ensayadas por tipo de sollicitación; los valores mostrados corresponden a la suma de las probetas ensayadas para cada zona del país.

Tabla 1. Ensayos mecánicos realizados.

Parte de la guadua	Flexión	Tensión II	Compresión II	Compresión ⊥	Corte II
Inferior (Cepa)	-	38	44	34	55
Media (Basa)	45	89	92	60	102
Superior (Sobrebasas)	44	84	91	60	106

Ensayo de corte paralelo a la fibra

Para determinar la resistencia última a corte paralelo a la fibra del bambú *Guadua angustifolia*, fueron realizados 263 ensayos discriminados como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de las probetas ensayadas en corte paralelo a la fibra.

		ZONA DEL PAÍS					
		ZONA A		ZONA B		ZONA C	
		Con nudo	Sin nudo	Con nudo	Sin nudo	Con nudo	Sin nudo
Parte de la guadua	Inferior	10	9	8	8	10	10
	Media	17	19	16	16	17	17
	Superior	20	20	17	15	17	17
	Subtotal	47	48	41	39	44	44
	Total	95		80		88	

Para el ensayo se utilizó un dispositivo elaborado por Castrillón *et al.* (2004) que facilita la colocación de la probeta y la alineación de los platos de carga. En la Figura 3a se muestra el ensayo de una probeta con nudo y en la Figura 3b una probeta sin nudo, utilizando el dispositivo mencionado.



a. Probeta con nudo



b. Probeta sin nudo

Figura 3. Ensayo en corte paralela a la fibra.

Ensayo de compresión paralela a la fibra

Para determinar la resistencia última a compresión paralela a la fibra del bambú *Guadua angustifolia*, fueron realizados 227 ensayos discriminados como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribución de las probetas ensayadas a compresión paralela a la fibra.

		ZONA DEL PAÍS		
		ZONA A	ZONA B	ZONA C
Parte de la guadua	Inferior	14	15	15
	Media	31	30	31
	Superior	31	30	30
	Total	76	75	76

Siguiendo los lineamientos establecidos en la NTC 5525 la longitud de cada probeta fue igual a su diámetro. Se utilizó el dispositivo de cuñas de placas de acero recomendado por dicha norma para reducir la fricción entre la probeta y el plato.

Para determinar el módulo de elasticidad longitudinal a compresión paralela a la fibra del material, fueron instrumentadas 136 probetas con deformímetros para medir acortamientos en la dirección de las fibras; la distribución de estas probetas es indicada en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribución de las probetas instrumentadas para determinación del módulo de elasticidad longitudinal a compresión paralela a la fibra.

		ZONA DEL PAÍS		
		ZONA A	ZONA B	ZONA C
Parte de la guadua	Inferior	10	6	9
	Media	25	20	18
	Superior	23	9	16
	Total	58	35	43

Con el objetivo de determinar el coeficiente de Poisson del material, 22 probetas fueron instrumentadas con extensómetros eléctricos (strain gages) en la dirección paralela y perpendicular respecto de la dirección de las fibras; 4 de la parte inferior, 9 de la parte media y 9 de la parte superior del culmo de la guadua.

En la Figura 4a se muestra la ejecución del ensayo de una probeta a carga última, en la Figura 4b una probeta instrumentada para la determinación del módulo de elasticidad longitudinal a compresión paralela a la fibra y en la Figura 4c la instrumentación de una probeta para determinar el coeficiente de Poisson.



Figura 4. Ensayo de compresión paralela a la fibra

Ensayo de tensión paralela a la fibra

Para determinar la resistencia última de la *Guadua angustifolia* ante solicitaciones de tensión paralela a la fibra, se realizaron 221 ensayos en probetas distribuidas de la forma indicada en la Tabla 5.

Tabla 5. Distribución de las probetas ensayadas a tensión paralela a la fibra.

		ZONA DEL PAÍS		
		ZONA A	ZONA B	ZONA C
Parte de la guadua	Inferior	15	16	15
	Media	30	30	30
	Superior	30	30	30
	Total	75	76	75

Para determinar el módulo de elasticidad longitudinal en tensión paralela a la fibra del material, 211 probetas fueron instrumentadas con comparadores de carátula para medir alargamientos en la dirección de las fibras; la distribución de estas probetas es indicada en la Tabla 6.

Tabla 6. Distribución de las probetas instrumentadas para determinación del módulo de elasticidad longitudinal a tensión paralela a la fibra.

		ZONA DEL PAÍS		
		ZONA A	ZONA B	ZONA C
Parte de la guadua	Inferior	11	12	15
	Media	30	29	30
	Superior	28	30	26
	Total	69	71	71

La Figura 5 muestra un esquema de la ejecución del ensayo de tensión paralela a la fibra instrumentada para la determinación del módulo de elasticidad longitudinal a tensión.



Figura 5. Ensayo de tensión paralela con determinación del módulo de elasticidad longitudinal

Ensayo de flexión

Para determinar la resistencia última de la *Guadua angustifolia* ante solicitaciones de flexión fueron realizados 89 ensayos en probetas distribuidas de la forma indicada en la Tabla 7. Debido a que los culmos de guadua son divididos en campo en segmentos de 1,50 m, 4,50 m y 3 m de longitud que corresponden a la parte inferior, media y superior respectivamente y dadas las restricciones de longitud y calidad del culmo a ser ensayado establecida en la NTC 5525 (la longitud libre del culmo debe ser igual a 30 veces su diámetro externo, sin defectos visibles y sin curvaturas en el plano de flexión), este ensayo sólo fue realizado para culmos de la parte media y superior de la guadua.

Tabla 7. Distribución de las probetas ensayadas a flexión.

		ZONA DEL PAÍS		
		ZONA A	ZONA B	ZONA C
Parte de guadua	Media	33	7	5
	Superior	32	5	7
	Total	65	12	12

Se realizó un ensayo a flexión de cuatro puntos, donde la aplicación vertical hacia arriba se realiza mediante un gato hidráulico que levanta un perfil metálico IPE-200 al cual se soldaron dos pletinas que aplican la carga en los tercios de la luz libre de la viga simplemente apoyada como se muestra en la figura 6.

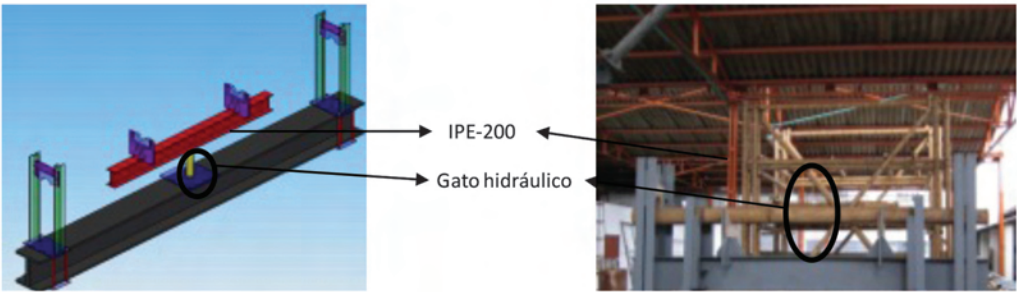


Figura 6. Montaje para ensayo de flexión

La deflexión en el centro de la luz fue medida con ayuda de un comparador de carátula para deflexiones pequeñas y una regla metálica para deflexiones grandes.

Ensayo de compresión perpendicular a la fibra

El ensayo se realizó en probetas de 17 cm sin nudo con aplicación de carga perpendicular, como se observa en la Figura 7. Para todos los ensayos fueron medidos los desplazamientos del plato de compresión.



Figura 7. Esquema general ensayo compresión perpendicular

La Tabla 8 presenta la cantidad y distribución de las probetas ensayadas a compresión perpendicular a la fibra.

Tabla 8. Distribución de las probetas ensayadas a compresión perpendicular a la fibra

		ZONA DEL PAÍS		
		ZONA A	ZONA B	ZONA C
Parte de la guadua	Inferior	8	11	15
	Media	20	20	20
	Superior	20	20	20
	Total	48	51	55

Ensayo de torsión

Para determinar el módulo de rigidez del bambú guadua se ensayaron 34 probetas a torsión. Como se observa en la figura 8, el momento torsor se aplicó sobre probetas de 6,5 m, con ayuda de pesas calibradas midiendo el giro con dos comparadores de carátula. De las 34 probetas, se ensayaron 11 de la parte inferior, 10 de la parte media y 13 de la parte superior del culmo.

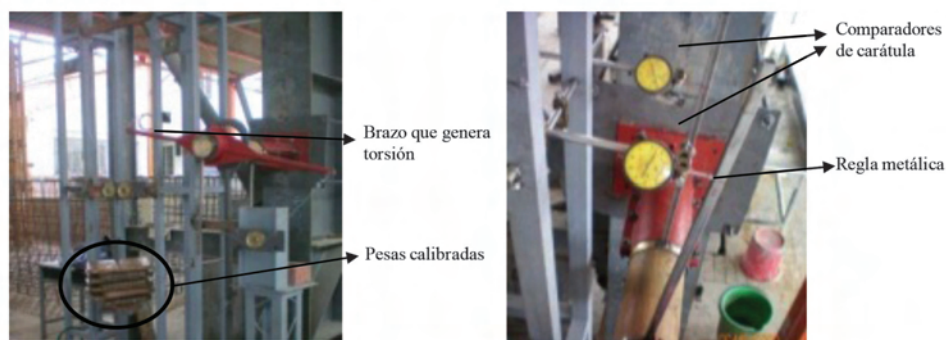


Figura 8. Esquema general ensayo torsión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valores característicos de resistencias

La NTC 5525 seguida para la realización de algunos de los ensayos mecánicos realizados, establece los parámetros para la caracterización física y mecánica de culmos de bambú *Guadua angustifolia*, sin establecer la metodología para calcular los valores característicos de resistencia, necesarios para el dimensionamiento estructural; por lo tanto, fue usada la ecuación 1, tomada de la norma ISO 22156 (2004a), para determinar los valores característicos de resistencia última, R_{ki} , para diferentes solicitaciones.

$$R_{ki} = R_{0.05} \left(1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right) \quad (1)$$

En la ecuación $R_{0.05}$ es el percentil 5 de los datos de cada ensayo, s la desviación estándar de los datos del ensayo, m el promedio de los datos del ensayo y n el número de datos del ensayo.

En la Tabla 9 se muestran los valores característicos para la resistencia última a corte, compresión y tensión paralela a la fibra, flexión y compresión perpendicular a la fibra para las diferentes partes del culmo del bambú guadua y en general.

Tabla 9. Valores característicos (MPa) de resistencia del culmo de *Guadua angustifolia* ante diferentes solicitaciones.

	Parte Inferior	Parte Media	Parte Superior	Total de partes
Corte	3,2	4,3	3,0	3,5
Compresión paralela	19,1	19,3	23,6	20,3
Tensión Paralela	39,9	37,1	41,4	40,7
Flexión		35,3	40,8	37,4
Compresión perpendicular	2,4	1,0	2,9	1,7

Los resultados obtenidos muestran que no existe gran variación de la resistencia a corte para cada parte de la guadua.

Observando los resultados obtenidos, los valores característicos a compresión y tensión paralela varían a lo largo de la longitud de la guadua, siendo menor en la porción inferior y mayor en la superior. Además, los resultados evidencian que no existe variación entre la resistencia a compresión paralela de la porción inferior y media; en el caso de tensión paralela, los resultados obtenidos para la porción inferior y media muestran una ligera disminución.

El valor característico a flexión varía a lo largo de la longitud de la guadua, siendo menor para la parte media que para la parte superior.

No se puede observar una tendencia de la resistencia a compresión perpendicular con respecto a la porción del culmo. Esto puede deberse a su valor bajo en comparación con la resistencia a compresión y tensión paralela a la fibra y a que depende de los defectos localizados internos o externos que pueda tener una probeta.

Los valores característicos encontrados en este estudio con respecto a la bibliografía existente son más bajos. Esto puede deberse a que los ensayos fueron realizados en probetas con humedades altas, 98%, 89% y 92% en promedio para los ensayos de corte, compresión paralela y tensión paralela respectivamente y los valores reportados en la literatura corresponde a contenidos de humedad más bajos, por lo tanto, no es posible hacer comparaciones directas.

Relación de Poisson

Se determinó un valor promedio de la relación de Poisson de 0,36 para las partes inferior y media, 0,33 para la parte superior y 0,35 en general para el culmo. Ghavami y Marinho (2004) reportaron un valor promedio de relación de Poisson para bambú *Guadua angustifolia* igual a 0,34 y valores para probetas sin nudo de 0,27; 0,36 y 0,36 para las partes inferior, media y superior respectivamente, sin establecer el contenido de humedad de las probetas usadas.

Módulos elásticos

En la Tabla 10 se muestran los valores promedio, percentil 5 y mínimo de los módulos de elasticidad longitudinal, circunferencial y el módulo de rigidez. Se dan estos valores de módulos elásticos porque según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10 (2010), el módulo de elasticidad usado para el análisis de estructuras con elementos estructurales de guadua debe ser el módulo

promedio y en el caso de tener condiciones de servicio críticas o que requieran un nivel de seguridad superior, las deflexiones deben ser calculadas usando el módulo percentil 5. Sin embargo se enfatiza que la *selección del módulo de elasticidad adecuado dependerá del criterio del ingeniero calculista*.

Tabla 10. Módulos elásticos por partes del culmo de *Guadua angustifolia*.

		Parte Inferior	Parte Media	Parte Superior	Total partes
Módulo de elasticidad longitudinal a compresión (GPa)	Promedio	8,72	8,10	10,56	9,08
	Percentil 5	1,85	2,03	3,62	2,19
	Mínimo	1,13	1,08	2,75	1,08
Módulo de elasticidad longitudinal a tensión (GPa)	Promedio	6,63	6,08	6,99	6,54
	Percentil 5	3,65	2,81	3,10	3,03
	Mínimo	3,21	2,01	2,49	2,01
Módulo de elasticidad longitudinal a flexión (GPa)	Promedio	–	13,67	14,16	13,90
	Percentil 5	–	7,88	8,06	7,83
	Mínimo	–	6,19	3,00	3,00
Módulo de elasticidad circunferencial (GPa)	Promedio	0,25	0,48	0,83	0,56
	Percentil 5	0,12	0,12	0,18	0,13
	Mínimo	0,06	0,07	0,03	0,03
Módulo de rigidez a torsión (GPa)	Promedio	0,66	0,55	0,68	0,64
	Percentil 5	0,47	0,36	0,41	0,37
	Mínimo	0,47	0,33	0,31	0,31

Los resultados no muestran una tendencia de variación de los módulos elásticos por parte de la guadua, con excepción del módulo de elasticidad circunferencial cuyo valor promedio y percentil 5 aumenta con la altura.

CONCLUSIONES

Fueron presentados los valores característicos para diferentes solicitaciones, valores necesarios para la determinación de los esfuerzos admisibles para el diseño de estructuras que usan guadua rolliza como material estructural.

Los resultados muestran que no existe variación de resistencia a corte paralelo a la fibra para las diferentes partes de la guadua estudiadas. En el caso de compresión paralela se evidencia un aumento de resistencia al comparar los resultados obtenidos para la porción inferior y superior; por el contrario, no existe variación ante esta solicitación entre la porción inferior y media. Al igual que en compresión paralela, la resistencia a tensión paralela aumenta al comparar los resultados obtenidos para la porción inferior y superior; comparando los resultados obtenidos para la porción inferior y media, existe una ligera disminución. La resistencia a flexión longitudinal varía a lo largo de la longitud de la guadua, siendo menor para la parte media que para la parte superior. Los resultados obtenidos para compresión perpendicular a la fibra no muestran una tendencia de la resistencia con respecto a la porción del culmo.

A partir de los resultados experimentales obtenidos para los módulos elásticos, puede concluirse que no existe una tendencia de variación para las diferentes partes de la guadua, con excepción del módulo de elasticidad circunferencial cuyo valor promedio y percentil 5 aumenta con la altura.

Debido a que los valores característicos de resistencia determinados en la presente investigación corresponden a contenidos de humedad superiores al 80%, por lo tanto no es posible hacer comparaciones directas con los valores reportados en la literatura pues estos corresponden a contenidos de humedad más bajos.

Se hace énfasis en el presente artículo en la importancia de seguir protocolos de corte del culmo y preparación de probetas. Es importante realizar y documentar los esquemas de corte, para poder identificar el lugar de procedencia (tanto geográfico como de posicionamiento en el culmo) de cada una de las probetas.

El programa experimental contempló un número alto de ensayos en probetas de bambú *Guadua angustifolia* para diferentes solicitaciones. Las probetas fueron obtenidas de 120 culmos a partir de 360 esquemas de corte (por culmo se cortaron tres tramos), esto garantizó una distribución aleatoria de las probetas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado a partir del proyecto de investigación “Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para el diseño por el método de esfuerzos admisibles”, por lo tanto los autores agradecen el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural así como a la Sociedad Colombiana del Bambú y Arme Ideas en Guadua por la asesoría en la selección, corte y transporte del material.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 1999. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-98. Bogotá. Colombia.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá. Colombia.

Bedoya, J. R.; González, H. Á.; Montoya, J. A. 2008. Comportamiento de muestras de *Guadua angustifolia* Kunth con diafragma y sin diafragma sometidas a esfuerzo de compresión. *Scientia et Technica* XIV: 449-454.

Castrillón, B.; Malaver, D. 2004. *Procedimiento de ensayos para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua.* Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Díaz, J. F.; González, E. 1992. *Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua (Guadua Angustifolia Kunth).* Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

García, E. A.; González, E.; Osorio, J. A. 2002. Resistencia a la Flexión de la *Guadua Angustifolia* Kunt a Escala Natural. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 55: 1555-1572.

Ghavami, K.; Marinho, A. B. 2004. Propiedades físicas e mecánicas do colmo interior do bambú da especie *guadua angustifolia*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9: 107-114.

González, C. E.; Takeuchi, C. P. 2007. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. *Ingeniería y Universidad* 11: 89-103.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. 2007. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5525. Bogotá.

International Organization for Standardization. 2004a. Bamboo Structural Design. ISO/DIS-22156

International Organization for Standardization. 2004b. Determination of physical and mechanical properties of bamboo. ISO/DIS- 22157

Lamus, F. 2008. *Calificación de una conexión viga-columna resistente a momento en Guadua Angustifolia.* Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

López, L. F.; Silva, M. F. 2000. *Comportamiento sísmo resistente de estructuras en Bahareque*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Ministerio de Desarrollo Económico 2002. Decreto 052 del 2002. Por medio del cual se modifica y adiciona el Título E del Decreto 33 de 1998, Colombia.

Pantoja, N. H.; Acuña, D. F. 2005. *Resistencia al corte paralelo a la fibra de la Guadua angustifolia*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Torres, L. A.; Ghavami, K.; García, J. J. 2007. A transversely isotropic law for the determination of the circumferential young's modulus of bamboo with diametric compression tests. *Latin American Applied Research* 37: 255-260